

# すばる望遠鏡による高赤方偏移大規模構造の観測的研究

著者	山内 良亮
号	50
学位授与番号	2317
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/39376">http://hdl.handle.net/10097/39376</a>

氏名・(本籍)	やま　うち　りょう　すけ 山　内　良　亮
学位の種類	博　士(理　学)
学位記番号	理博第2317号
学位授与年月日	平成19年3月27日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科、専攻	東北大学大学院理学研究科(博士課程)物理学専攻
学位論文題目	すばる望遠鏡による高赤方偏移大規模構造の観測的研究
論文審査委員	(主査) 教授 井 上 邦 雄 教授 土 佐 誠, 千 葉 桓 司 助教授 林 野 友 紀 助教授 山 田 亨 (国立天文台ハワイ観測所)

## 論 文 目 次

### 概要

#### 第1章 序章

- 1.1 宇宙の大規模構造
- 1.2 密度揺らぎ
- 1.3 現代の宇宙観測

#### 第2章 観測的宇宙論と構造形成の物理

- 2.1 観測的宇宙論の概要
- 2.2 密度揺らぎの成長と構造形成

#### 第3章 高赤方偏移における天体サーベイ

- 3.1 高赤方偏移天体
- 3.2 高赤方偏移における構造探査

#### 第4章 すばる望遠鏡による高赤方偏移サーベイ

- 4.1 すばる望遠鏡
- 4.2 すばる主焦点広視野撮像カメラ (Suprime-Cam)
- 4.3 撮像観測とデータの流れ
- 4.4 Suprime-Cam画像のデータ処理
- 4.5 Photometry (測光)
- 4.6  $z=3.1$ におけるLAEの大規模構造サーベイ
- 4.7 2002-2004年の観測
- 4.8 2005年すばるIntensive Programによる広域撮像観測

#### 第5章 高赤方偏移大規模構造の統計的性質

- 5.1 SSA22  $z=3.1$ 大規模構造における密度揺らぎ
- 5.2 構造形成シミュレーションとの比較

## 論文内容要旨

本研究は、銀河とその群れから成る「銀河宇宙」がどのような形成・進化を遂げてきたのかについて、大型光学望遠鏡である「すばる」を用いた100億光年以上先の超遠方（すなわち早期の）宇宙における銀河探査によって理解することを目的とするものである。これまで世界中で広く行なわれている、比較的近傍（我々からおよそ10億光年以内）の銀河探査によると、現在の宇宙では、銀河は特徴的なパターンで分布していることがわかっている。銀河の3次元分布を見ると、数千にも及ぶ銀河が数億光年という大スケールで群れを成していることがわかる（これは「宇宙の大規模構造」と呼ばれる）。この大規模構造は、銀河の集中したフィラメント状の膜のような領域と、銀河のあまり見つからない巨大な空洞のような領域で特徴づけられる。現在の標準的な宇宙構造形成モデルによると、このような構造は、宇宙全体においてバリオン物質の約6倍もの質量を持つとされる、ダークマターの重力作用によって出来たものと考えられているが、その形成過程に対する観測的検証は（遠方宇宙観測の困難さから）未だ充分行なわれていないのが現状である。著者等は2002年より、ハワイにあるすばる望遠鏡を用いて、赤方偏移 $z=3.1$ の早期宇宙（宇宙年齢約20億年に相当）に存在が確認されている高赤方偏移の銀河密集領域を広く詳細に調べる観測的研究を行なっている。この天域は「SSA22」と呼ばれ、1998年にカリフォルニア工科大学のC.Steidelのグループにより、 $z=3.09 \pm 0.03$ において期待値の約6倍という非常に高い銀河数密度を持つことが報告されていた。ただし、彼らの探査領域の狭さのため、この銀河高密度領域の詳細な分布・広がりについては不明であった。著者等はこの領域をさらに広く詳細に調べるため、彼らの約10倍の視野を一度にカバーする「すばる広視野主焦点カメラ（Suprime-Cam）」を用いた狭帯域フィルタによる広域・深撮像サーベイを行なった。この領域に対し約1.3平方度（すばる主焦点・隣接7視野分）に及ぶ拡張広域探査を行なった結果、 $z=3.09 \pm 0.03$ において、水素のLyman- $\alpha$ で強く輝く非常に確からしい高赤方偏移天体（LAE: Lyman- $\alpha$  Emitter）を約1000～2000個に及ぶ大統計で検出することに成功した。著者等はさらに、別のいくつかの天域に対しても、すばるによる同様の、広く深い狭帯域撮像観測（約1平方度；主焦点5視野分の領域）を行ない、これを $z=3.09$ における宇宙の一般領域とみなすことで、SSA22  $z=3.09$ のLAE分布構造の統計的性質を調べた。そして、これらの観測結果に対し、標準構造形成理論が同じ高赤方偏移において構造の特性を再現できるか比較を行なったところ、その確率は極めて低い（地平線内における宇宙全体に対して見積もられる期待値は、僅か0.01個以下）ことが判明した。この結果は、近傍の宇宙における大規模構造をうまく再現できるとされる標準的構造形成モデルが、高赤方偏移の振舞いにおいて修正が必要であることを示唆するものである。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、すばる望遠鏡SuprimeCamに狭帯域フィルタを組み合わせ、赤方偏移 $z=3.1$ におけるLyman- $\alpha$ 輝線銀河(LAE)分布観測から、宇宙年齢約20億年での構造形成の進捗情報をもたらし、宇宙構造形成理論の構築に対して重要な知見を与えるものである。

年齢137億年の現在の宇宙がもつ宇宙大規模構造と呼ばれる顕著な銀河の粗密に対し、宇宙背景放射観測による年齢38万年での密度揺らぎは10万分の1程度しかない。一方、銀河回転速度や重力レンズ効果などの観測は、未知の暗黒物質の存在を示している。この(冷たい)暗黒物質および暗黒エネルギーを導入する標準構造形成理論は、宇宙初期の微小ゆらぎの成長を促進し、現在の大規模構造を再現し、38万年と137億年の両エポックをつなぐモデルとして一応の成功を収めている。本論文による年齢20億年での銀河分布情報は、この理論に対して新しいエポックでの検証をもたらす。

C.SteidelらによるLyman Break銀河による先駆的観測は、SSA22天域において、 $z=3.1$ に銀河数の超過を示唆した。LAE観測でも同様の超過を観測したが、 $9' \times 9'$  観測視野や比較対象の一般領域視野がともに狭く、決定的でなかった。本論文が用いるSuprimeCamは1視野で $34' \times 27'$ とC.Steidelらの10倍もの観測領域があり、異例の長期間観測でSSA22周辺に7視野(1.3平方度)もの観測データから、約1600個におよぶLAE分布を得た。また、一般領域においても視野0.68平方度で440個のLAEを得た。その結果、SSA22における $z=3.1$ でのLAE超過は決定的となり、分布の詳細ももたらしめた。さらに、標準構造形成理論に基づく大規模数値シミュレーションでは、20億年では構造形成があまり進まず、観測されたLAE密度超過を説明するのは困難であることを示した。

本論文は、宇宙年齢20億年での銀河分布に対する高品質のデータを提供しており、本論文が確立したLAEの数密度超過は、標準構造形成理論に大変更をもたらす可能性のある重大な成果である。これらはいずれも博士論文として高い評価に値し、自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有していると認められる。したがって、山内良亮提出の博士論文は、博士(理学)の学位論文として合格と認める。